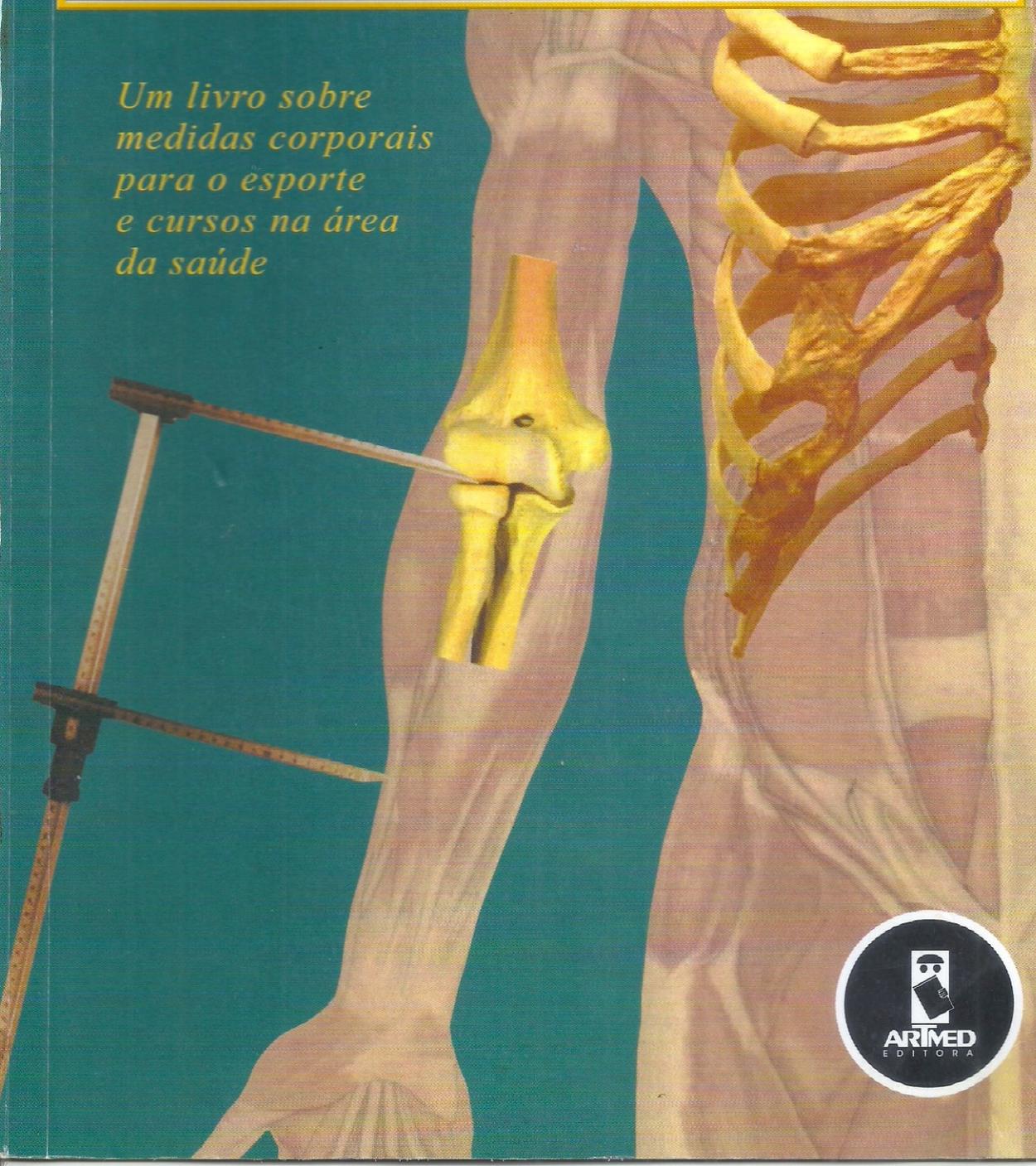


ANTROPOMÉTRICA

Kevin Norton & Tim Olds

*Um livro sobre
medidas corporais
para o esporte
e cursos na área
da saúde*



KEVIN NORTON
TIM OLDS

ANTROPOMÉTRICA

Um livro sobre medidas corporais
para o esporte e cursos da área da saúde

Tradução:

Nilda Maria Farias de Albernaz

Consultoria, supervisão e revisão técnica desta edição:

Ayr Müller Gonçalves

Licenciado em Educação Física pela ESEF/IPA

Luciano Castro

Licenciado em Educação Física pela ESEF/UFRGS

Especialista em Ciências do Esporte pela ESEF/UFRGS

Mestre em Ciências do Movimento Humano pela ESEF/UFRGS

Doutorando em Ciências da Saúde – Faculdade de Medicina – PUCRS

Professor das disciplinas de Medidas e Avaliação em Educação Física, Cinesiologia
e Anatomia da Faculdade de Educação Física e Ciências do Desporto da PUCRS



2005

Erros de Medição em Antropometria

David Pederson e Christopher Gore

1	INTRODUÇÃO	91
2	MEDIDAS DE PRECISÃO E DE CREDIBILIDADE – ETM E CCI	92
3	OBTENÇÃO DE DADOS CONFIÁVEIS	93
4	TABELAS DE DADOS DE UMA E DE DUAS VIAS	94
5	CÁLCULO DO ETM E DO CCI COM DUAS MEDIDAS POR INDIVÍDUO	95
5.1	Tabela de dados de uma via	95
5.2	Tabela de dados de duas vias	97
6	CÁLCULO DO ETM E DO CCI COM TRÊS MEDIDAS POR INDIVÍDUO	98
6.1	Tabela de dados de uma via	99
6.2	Tabela de dados de duas vias	99

Erros de Medição em Antropometria

David Pederson e Christopher Gore

1	INTRODUÇÃO	91
2	MEDIDAS DE PRECISÃO E DE CREDIBILIDADE – ETM E CCI	92
3	OBTENÇÃO DE DADOS CONFIÁVEIS	93
4	TABELAS DE DADOS DE UMA E DE DUAS VIAS	94
5	CÁLCULO DO ETM E DO CCI COM DUAS MEDIDAS POR INDIVÍDUO	95
	5.1 Tabela de dados de uma via	95
	5.2 Tabela de dados de duas vias	97
6	CÁLCULO DO ETM E DO CCI COM TRÊS MEDIDAS POR INDIVÍDUO	98
	6.1 Tabela de dados de uma via	99
	6.2 Tabela de dados de duas vias	99

7 INTERPRETAÇÃO E APLICAÇÃO DO CCI E DO ETM	100
7.1 CCI	100
7.2 ETM	100
8 CONHECIMENTO TEÓRICO	102
9 REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

Se um antropometrista medir as dobras cutâneas de um indivíduo repetidamente, por exemplo, em vários dias sucessivos, as medidas irão variar. Enquanto pequena parte das variáveis será consequência das mudanças biológicas do indivíduo, a maior parte será provavelmente devida à inconsistência da técnica do antropometrista. Quando as dobras cutâneas estiverem sendo medidas, a localização dos pontos do corpo pode sofrer leve variação de uma medida para a outra, ou o equipamento pode estar calibrado num nível diferente cada vez. Claramente, é muito mais vantajoso para o antropometrista minimizar a variabilidade técnica das medidas. Na literatura sobre erros de medição, quatro tópicos predominam – **precisão, credibilidade, exatidão e validade**.

A variabilidade observada nas medições repetidas no mesmo indivíduo determina o grau de **precisão**. As medidas de precisão geralmente têm as mesmas unidades das variáveis. Alta precisão corresponde à baixa variabilidade de medições sucessivas e constitui o objetivo de antropometrista competente, já que, então, haverá alta probabilidade de que apenas uma medição estará próxima do seu valor real, o valor que interessa para o examinador.

Um antropometrista não usa um único valor para sua precisão, mas um valor separado para cada combinação de variáveis, bem como regras de medição. Na maioria das variáveis antropométricas, existem padrões aceitáveis de precisão que permitem aos antropometristas avaliar suas próprias performances. Um debate sobre níveis de precisão racionalmente possíveis e desejados pode ser encontrado no Capítulo 13.

A precisão é o indicador mais básico na experiência do antropometrista. Entretanto, se os níveis de precisão forem citados num relatório técnico, então os leitores deverão conhecer ambas as unidades e os padrões aceitáveis para atingirem a precisão em cada variável. Uma alternativa é citar os níveis de **credibilidade**, frequentemente coeficientes de correlação e, portanto, não possuem unidades. A medida de credibilidade apresentada neste capítulo é o **coeficiente de correlação intraclasse (CCI)**, para o qual os valores variam de 0 (credibilidade zero) a 1 (credibilidade perfeita).

As medidas de precisão e de credibilidade diferem em suas unidades e na restrição de seus possíveis valores. Há outras duas diferenças. Primeiramente, precisão é característica particular de determinado examinador usando técnica de medição particular, numa variável particular. Credibilidade tem as mesmas características, além da adicional de depender da variável dos indivíduos avaliados. Em geral, uma medida de credibilidade para uma variável particular estará mais próxima do 1 num grupo de indivíduos muito diferentes uns dos outros, do que num grupo de avaliados relativamente semelhantes. Em segundo lugar, uma medida de precisão pode ser usada em cálculos posteriores, por exemplo, de intervalos de confiança, ou do tamanho da amostra necessária para satisfazer determinado critério. Medidas de credibilidade, por outro lado, são simples indicadores da técnica, não tendo nenhuma utilidade para cálculos futuros.

É importante que a medição obtida por um antropometrista num indivíduo em particular esteja bem perto do valor real. A extensão em que um valor medido corresponde ao valor real é a **exatidão** da medição. Mas qual é o "valor real"? Por exemplo, não existe máquina que meça as dobras cutâneas com absoluta exatidão. Quando a exatidão da medida é determinada, geralmente se compara com o valor obtido por antropometrista muito experiente e altamente capacitado (antropometrista de nível

3 ou 4).^{*} Os valores obtidos por tal pessoa (chamada de examinador criterioso) são supostamente os valores reais das variáveis, na média.

O quarto aspecto dos erros de medição é a **validade**, que é a extensão em que uma medida realmente mede determinada característica. Por exemplo, a variável em estudo pode ser característica geral do “condicionamento físico” dos avaliados. Uma variável ou a combinação de variáveis que demonstre ser uma fraca indicadora de condicionamento físico de acordo com o critério específico será vista como tendo pouca validade. Entretanto, validade é raramente um assunto de preocupação em medidas antropométricas, já que as variáveis medidas geralmente são bem definidas, não conceitos abstratos.

Devido aos diferentes fatores que influenciam a precisão, a confiabilidade e a exatidão, a correspondência entre elas nunca é certa. Um alto nível de credibilidade geralmente indica um alto nível de precisão, mas este nem sempre é acompanhado daquele. É bem possível (na verdade bem comum) para um examinador demonstrar alta precisão e, mesmo assim, ter pouca exatidão. Essa seria a situação do examinador que estivesse medindo com um desvio constante, mas de maneira consistente. No entanto, o objetivo do antropometrista deverá ser atingir altos níveis de precisão, credibilidade e exatidão, por meio de técnica válida de medição.

Para algumas variáveis antropométricas, as medidas dos indivíduos avaliados dividem-se em classes. A massa corporal de um remador pode ser classificada como “peso pesado” ou “peso leve”. Variáveis desse tipo são chamadas de **qualitativas**. Entretanto, as técnicas discutidas neste capítulo são apropriadas somente para variáveis **quantitativas**, porque os valores são numéricos. As técnicas são mais adequadas para variáveis quantitativas que podem apresentar muitos valores possíveis ou assumir qualquer valor dentro de uma variação específica.

2 MEDIDAS DE PRECISÃO E DE CREDIBILIDADE – ETM E CCI

A medida de precisão usada neste capítulo é o erro técnico de **medição** (ETM), definido como desvio-padrão de medições repetidas realizadas independentemente uma da outra no mesmo indivíduo. As unidades de ETM são as mesmas unidades da variável medida.

Suponhamos que o mesmo antropometrista realize todas as medidas, o ETM será, portanto, intra-examinador (ou intratestador). O desvio-padrão das medidas realizadas independentemente no mesmo indivíduo por dois ou mais antropometristas é interexaminador (ou intertestador) que deverá exceder o ETM intra-examinador caso haja diferenças consistentes entre os antropometristas. Se uma das duas medidas em cada indivíduo é realizada por examinador criterioso, o ETM intertestador pode servir para investigar a exatidão do antropometrista que realizou a segunda medição no indivíduo.

O tamanho do ETM está freqüentemente associado à média da variável. Por exemplo, em relação aos dados de dobras cutâneas é comum que se observe um ETM baixo quando a média da amostra é baixa e um ETM alto quando a média da amostra é alta. Para facilitar a comparação dos ETMs coletados em variáveis ou popula-

^{*} N. de R.T. Os antropometristas são divididos pela ISAK em níveis de 1 a 4, sendo os níveis 3 e 4 os considerados mais capacitados quanto à reprodutibilidade das medidas.

ções diferentes, a seguinte fórmula pode ser usada para converter o **ETM absoluto** em **ETM relativo (% ETM)**:

$$\%ETM = \frac{ETM}{Média} \times 100$$

em que Média é a média total da variável medida. O ETM relativo fornece o erro como porcentagem da média total e não possui unidades. Em outros contextos, o %ETM pode ser mencionado como o coeficiente de variação da variável.

A medida de credibilidade usada neste capítulo é a de coeficiente de correlação intraclasse, calculada mais facilmente a partir dos resultados da **análise de variância** (ANOVA). Os esquadros de sentido da ANOVA são combinados numa fórmula de rádio para dar um CCI. Não existe apenas um CCI para uma série de dados fornecida. Se uma fórmula diferente é usada, um CCI diferente é obtido. As duas interpretações do CCI apresentadas neste capítulo são:

- O CCI indica a correlação entre as medições sucessivas do mesmo indivíduo.
- O CCI indica a capacidade do procedimento de medição em diferenciar os indivíduos.

Um CCI é sempre positivo e não possui unidades. Os valores variam de 0 a 1, com um valor próximo a 1 indicando alta credibilidade, já que, então, as medições sucessivas estão relativamente próximas e de acordo.

Mais informações sobre o CCI foram fornecidas por Denegar e Ball (1993). Eles apresentaram exemplos numéricos que demonstram que os coeficientes de correlação intraclasse constituem medidas de credibilidade mais apropriadas do que os coeficientes de correlação interclasse, assim como a correlação produto-momento de Pearson. A principal razão é que os coeficientes interclasse são insensíveis às mudanças na média da amostra dos indivíduos de um momento para o outro, ao passo que os coeficientes intraclasse podem ser influenciados por tais mudanças.

3 OBTENÇÃO DE DADOS CONFIÁVEIS

Uma questão relacionada a dados confiáveis é a definição de medição, o valor que resulta de uma única sessão de medição. Em algumas variáveis antropométricas, como estatura ou massa, a medida é extraída geralmente em uma única leitura. Em outras variáveis, por exemplo, espessura de dobras cutâneas ou circunferência, a prática comum é realizar duas ou mais leituras e então usar a média como parâmetro de valor de medida. A vantagem de realizar várias medições é a de que erros aleatórios tendem a desaparecer com a aplicação da média ou mediana. A metodologia de uma variável em particular constitui o processo de medição; assim, qualquer ETM ou CCI será relacionado a um procedimento bem definido. Por exemplo, o ETM e o CCI na soma de sete dobras cutâneas seriam específicos à variável e certamente diferentes do ETM e do CCI da circunferência da cabeça. Caso o procedimento seja modificado, novos dados devem ser obtidos; com isso, o ETM e o CCI devem ser recalculados. Se um antropometrista trocar um compasso de dobras cutâneas Lafayette por um Harpenden, novos dados de credibilidade devem ser obtidos para o uso dos compassos Harpenden.

Os indivíduos medidos para estabelecer o ETM e o CCI devem pertencer às populações testadas no futuro ou, ao menos, a uma população semelhante. Se um futuro teste for realizado num grupo de levantadores de peso adultos, então os dados de credibilidade não poderão ser estabelecidos a partir de um grupo de ginastas pré-adolescentes. O número de indivíduos exigido para estabelecer o ETM e o CCI é determinado pelos recursos disponíveis, mas deve ser de, no mínimo, 20. Cada indivíduo deve ser medido repetidamente pelo mesmo examinador. Duas medições são suficientes e, para facilitar a análise, o número de medições deve ser o mesmo para cada indivíduo.

Análise mais informativa de confiança é possível se todas as medições da primeira série forem feitas ao mesmo tempo, todas da segunda série ao mesmo tempo, e assim por diante. Entretanto, é difícil definir precisamente o "ao mesmo tempo". Em alguns procedimentos antropométricos, "ao mesmo tempo" vai significar o espaço de uma manhã ou de um dia inteiro. Assim, se o antropometrista mediu as dobras cutâneas do tríceps de 20 pessoas durante uma manhã e então repetiu a medição à tarde, no mesmo dia, tanto a primeira como a segunda série de medidas de espessura das dobras cutâneas do tríceps podem ser consideradas como realizadas "ao mesmo tempo". Entretanto, se um antropometrista mediu as dobras cutâneas do tríceps de cada indivíduo duas vezes, com um período de três dias entre as duas medições, mas levou três meses para acumular os dados de 20 indivíduos, não é aceitável dizer que tanto a primeira quanto a segunda série de medições de dobras cutâneas do tríceps foram realizadas "ao mesmo tempo".

Em algumas práticas de medições, os valores dos indivíduos em determinado momento podem ser completamente diferentes dos valores de outro momento, como, por exemplo, no caso da alteração da base de leitura do aparelho usado. O ponto zero nos compassos Harpenden pode ser alterado inadvertidamente depois de uma série de medições de dobras cutâneas, de maneira que 1 mm seja acrescentado no total das leituras no segundo momento. A vantagem de medir todos os indivíduos ao mesmo tempo na primeira série e, um pouco mais tarde, remedi-los ao mesmo tempo na segunda série é que a análise pode servir para investigar alterações entre a primeira e a segunda série de medições. Podem ser investigadas maneiras de melhorar as práticas de medições, se for comprovada alteração.

4 TABELAS DE DADOS DE UMA E DE DUAS VIAS

Os dados de confiança podem ser colocados numa tabela em que as colunas são os indivíduos e as fileiras referem as medidas repetidas (veja a Tabela 3.1). Entretanto, o método de cálculo do ETM e do CCI vai depender da natureza dos dados e, em particular, se os dados formam uma tabela de uma ou de duas vias. A seguinte pergunta deve ser feita: as medições foram realizadas separadamente, em horário bem estabelecido, com todos os indivíduos avaliados em uma ocasião, ao mesmo tempo, e, mais tarde, reavaliados numa segunda ocasião, ao mesmo tempo, e assim por diante? Ou, em outras palavras, existe razão para se esperar diferença na relação de tempo entre as séries de medidas que é aproximadamente a mesma para todos os indivíduos?

- Se a resposta for "não", os dados constituem uma tabela de uma via.
- Se a resposta for "sim", os dados constituem uma tabela de duas vias.

O termo "uma via" é usado porque, nessa situação, os dados só consistem de colunas de números, e as fileiras não têm nenhum significado. Os números em cada co-

luna podem ser realinhados sem perda de informação. Na tabela de “duas vias”, tanto as fileiras (= tempo) como as colunas (= indivíduos) têm significado, e uma reorganização dentro da coluna destruiria o padrão dos dados. Quando os dados formam tabela de uma via, passa-se a chamar de ANOVA de uma via; quando formam tabela de duas vias, é chamada de ANOVA de duas vias.

Uma ANOVA de duas vias será mais bem conduzida numa tabela de dados completa, em que não faltem valores. Se estão faltando valores numa tabela de duas vias, as opções são:

- excluir os indivíduos até que se tenha uma tabela completa e, então, conduzir uma ANOVA de duas vias;
- conduzir uma ANOVA de uma via;
- buscar informação estatística sobre como conduzir uma ANOVA de duas vias com falta de valores e, então, de como obter estimativas de CCI e de ETM.

5 CÁLCULO DO ETM E DO CCI COM DUAS MEDIDAS POR INDIVÍDUO

Vários autores apresentaram uma fórmula simples para calcular o ETM de uma tabela de dados de uma via (Dahlberg, 1940) que usa as diferenças entre as duas medidas. Nesta seção, o ETM e o CCI serão calculados a partir de uma tabela de uma via, conduzindo, em primeiro lugar, uma ANOVA de uma via; mas o ETM também será calculado pelo método da diferença, para demonstrar que os dois métodos de cálculo resultam na mesma resposta. O ETM e o CCI ainda serão calculados a partir de uma tabela de dados de uma via, conduzindo, em primeiro lugar, uma ANOVA de duas vias. Na fórmula geral, o número de indivíduos será identificado pelo n , e o número de medições por indivíduo, pelo k (no caso de números iguais), ou por k_1, k_2, \dots, k_n para indivíduos de 1 a n (no caso de números desiguais).

Os dados do exemplo são as medidas de dobras cutâneas do tríceps (mm) em 10 indivíduos (veja a Tabela 3.1), embora devamos observar que, na prática, um número maior de pessoas seria melhor.

5.1 Tabela de dados de uma via

Nesta seção, assume-se que as primeiras medições não foram realizadas ao mesmo tempo, nem as segundas medições, de maneira que os dados formam uma tabela de uma via com os avaliados nas colunas. Isso será comum para os dados desse tipo, especialmente em situações em que o antropometrista não tem acesso a todos os indivíduos como um grupo, mas deve acumular dados num período de vários meses, à medida que os avaliados tornam-se disponíveis. ANOVA de uma via usando fórmu-

TABELA 3.1 Dados hipotéticos: medidas de dobras cutâneas do tríceps (mm) em 10 indivíduos, realizadas duas vezes

		Indivíduo									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		9,9	8,6	11,6	10,3	11,7	9,9	10,8	9,4	7,6	8,8
		9,3	8,7	10,6	10,5	11,4	9,6	11,0	9,1	7,4	8,2

la-padrão fornecida em livros de estatística ou por meio de um programa de computador de estatística fornece a Tabela 3.2.

Então,

$$ETM = \sqrt{MS_e} = \sqrt{0,1060} = 0,33 \text{ mm}$$

em que MS_e = erro médio ao quadrado. Já que a média das 20 observações é 9,72,

$$\%ETM = \frac{ETM}{Média} \times 100 = \frac{0,33}{9,72} \times 100 = 3,4\%$$

O CCI é obtido por

$$CCI = \frac{MS_s - MS_e}{MS_s + (k-1)MS_e}$$

em que MS_s = média dos quadrados entre os indivíduos, e

$$k = \frac{\sum k_i - \frac{\sum k_i^2}{\sum k_i}}{n-1}$$

(caso de números desiguais). Já que $k = 2$, neste exemplo,

$$CCI = \frac{MS_s - MS_e}{MS_s + MS_e} = \frac{3,312 - 0,106}{3,312 + 0,106} = 0,94$$

Quando o ETM é calculado pelo método da diferença, as diferenças (d_i) entre a primeira e a segunda medições são determinadas em primeiro lugar. Para esses dados, as diferenças são as seguintes:

$$0,6; -0,1; 1,0; -0,2; 0,3; 0,3; -0,2; 0,3; 0,2; 0,6$$

A soma das diferenças ($\sum d_i$) é 2,8 e a soma dos quadrados das diferenças ($\sum d_i^2$) é 2,12. Conseqüentemente,

$$ETM = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} = \sqrt{\frac{2,12}{20}} = 0,33 \text{ mm}$$

Essa é a mesma resposta obtida pela ANOVA.

TABELA 3.2 Tabela ANOVA de uma via para a série de dados apresentada na Tabela 3.1

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados
entre os indivíduos	9	29,812	3,312
erro	10	1,060	0,1060
total	19	30,872	

5.2 Tabela de dados de duas vias

Os dados agora são reanalisados na hipótese de que formam uma tabela de duas vias. Em antropometria, isso corresponde à situação em que, por exemplo, a espessura da dobra cutânea do tríceps foi medida em 20 indivíduos num dia e, três dias mais tarde, todos os indivíduos foram medidos novamente; ou seja, houve um intervalo de tempo distinto entre a primeira e a segunda série de medições, mas cada série foi realizada no mesmo intervalo de tempo. Uma ANOVA de duas vias, tanto usando a fórmula-padrão a partir de livros de estatística como um programa estatístico de computador, resulta na Tabela 3.3. A média do momento 1 é 9,86 mm e a média do momento 2 é 9,58 mm. A significância* da diferença das médias pode ser testada com um teste-F,

$$F = \frac{MS_t}{MS_e} = \frac{0,392}{0,0742} = 5,28$$

onde MS_t = média de cada momento ao quadrado.

TABELA 3.3 Tabela ANOVA de duas vias com a série de dados apresentada na Tabela 3.1

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados
entre os indivíduos	9	29,812	3,312
entre os momentos	1	0,392	0,392
erro	9	0,668	0,0742
total	19	30,872	

Já que a média de cada momento ao quadrado e o erro médio ao quadrado têm 1 e 9 graus de liberdade, respectivamente, a taxa-F também tem 1 e 9 graus de liberdade. Uma tabela de distribuição-F mostra que 5% de F com 1 e 9 graus de liberdade excede 5,12; conseqüentemente, conclui-se que as médias dos momentos 1 e 2 são significativamente diferentes com um nível de significância de 5%, já que 5,28 excede 5,12.

Nesse ponto, na prática, devemos considerar os porquês das médias terem sido significativamente diferentes. Se fosse descoberto que a diferença ocorre em virtude da mudança no procedimento de medição, que poderia ser identificada e evitada no futuro, então novos dados seriam coletados com o procedimento modificado. Com isso, a análise seria repetida desde o início. Se uma investigação revelasse que a primeira série de medições de dobras cutâneas do tríceps foi realizada observando cuidadosamente os pontos acromial e radial e a distância média entre esses dois pontos, mas a segunda série foi realizada "a olho" no local da dobra cutânea, o antropometrista precisaria repetir a segunda série de medições usando cuidadosamente o ponto de referência. Contudo, se uma investigação minuciosa dos resultados e da técnica não revelasse nenhuma causa para a diferença das médias, então a análise prosse-

* N. de R.T. Significância: em estatística denota a confiabilidade de um achado ou, inversamente, a probabilidade do achado ser resultado do acaso.

guiria com o cálculo do ETM e do CCI. Este último procedimento está acompanhado no presente caso, para ilustrar os métodos de cálculo.

Primeiramente,

$$ETM = \sqrt{\frac{(n-1)MS_e + MS_t}{n}} = \sqrt{0,1060} = 0,33 \text{ mm}$$

Observe que a mesma resposta foi obtida quando os cálculos se basearam na ANOVA de uma via. Na seqüência, note que o método das diferenças também poderia ser usado para a obtenção do ETM da tabela de dados de duas vias. O %ETM também é o mesmo nas duas análises, a saber, 3,4%. Em termos práticos, o ETM relativo é bem pequeno e aceitável nas medições de dobras cutâneas. Conclui-se, então, que o examinador produziu medidas precisas das dobras cutâneas do tríceps.

O CCI é dado por

$$CCI = \frac{n(MS_s - MS_e)}{nMS_s + kMS_t + (nk - n - k)MS_e}$$

Já que $k = 2$, neste exemplo,

$$\begin{aligned} CCI &= \frac{n(MS_s - MS_e)}{nMS_s + 2MS_t + (n-2)MS_e} \\ &= \frac{10(3,312 - 0,0742)}{10(3,312) + 2(0,392) + 8(0,0742)} = 0,94 \end{aligned}$$

Observe que o valor é próximo, mas não exatamente idêntico ao CCI baseado numa ANOVA de uma via.

6 CÁLCULO DO ETM E DO CCI COM TRÊS MEDIDAS POR INDIVÍDUO

Quando três ou mais medições da mesma variável forem disponíveis por indivíduo, o método da diferença para calcular o ETM descrito na Seção 5 não pode ser aplicado. Contudo, as fórmulas gerais do ETM e do CCI apresentadas podem ser usadas. Nesse caso, esta seção contém exemplos de cálculos.

Os dados serão os mesmos para os dois exemplos de medição, mas com o acréscimo de uma terceira medida da espessura das dobras cutâneas do tríceps em cada indivíduo (Tabela 3.4).

TABELA 3.4 Série de dados hipotéticos: medidas de dobras cutâneas do tríceps (mm) em 10 indivíduos, realizadas três vezes

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9,9	8,6	11,6	10,3	11,7	9,9	10,8	9,4	7,6	8,8
9,3	8,7	10,6	10,5	11,4	9,6	11,0	9,1	7,4	8,2
9,7	8,3	11,2	10,6	12,3	9,9	11,4	9,0	7,8	8,3

6.1 Tabela de dados de uma via

Na medida em que os dados constituem uma tabela de uma via, uma ANOVA de uma via mostra os seguintes resultados, apresentados na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 Tabela ANOVA de uma via para a série de dados apresentada na Tabela 3.4

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados
entre os indivíduos	9	49,6630	5,518
erro	20	1,8667	0,09333
total	29	51,5297	

$$ETM = \sqrt{MS_e} = \sqrt{0,09333} = 0,31 \text{ mm}$$

Já que a média de 30 observações é 9,76 mm,

$$\%ETM = \frac{ETM}{Média} \times 100 = \frac{0,31}{9,76} \times 100 = 3,2\%$$

Já que $k = 3$, neste exemplo, o CCI é obtido por

$$CCI = \frac{MS_s - MS_e}{MS_s + 2(MS_e)} = \frac{5,518 - 0,09333}{5,518 + 2(0,09333)} = 0,95$$

6.2 Tabela de dados de duas vias

Considerando que os dados constituem uma tabela de duas vias, uma ANOVA de duas vias mostra os seguintes resultados, apresentados na Tabela 3.6. As médias das dobras cutâneas do tríceps nos momentos 1, 2 e 3 são de 9,86 mm, 9,58 mm e 9,85 mm, respectivamente. Para testar se as médias apresentam diferenças significativas, calcula-se o F,

$$F = \frac{MS_t}{MS_e} = \frac{0,2523}{0,07567} = 3,33$$

TABELA 3.6 Tabela ANOVA de duas vias para a série de dados apresentada na Tabela 3.4

Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados
entre os indivíduos	9	49,6630	5,518
entre os momentos	2	0,5047	0,2523
erro	18	1,3620	0,07567
total	29	51,5297	

Na medida em que o percentil 95 de F com 2 e 18 graus de liberdade é 3,55, concluiríamos que as médias não são significativamente diferentes ao nível de 5% de significância.

Contudo, 3,33 é um valor próximo a 3,55. Portanto, devemos observar as possíveis razões para a segunda média das dobras cutâneas do tríceps estar abaixo das outras duas. Se não aparecer nenhuma razão, então o procedimento de medição será aceito na forma atual, e a análise deve prosseguir.

$$ETM = \sqrt{\frac{(n-1)MS_e + MS_t}{n}} = \sqrt{\frac{9(0,07567) + 0,2523}{10}} = 0,31 \text{ mm}$$

Repetindo, a mesma resposta foi obtida quando o cálculo foi baseado na ANOVA de uma via, e o %ETM é o mesmo nas duas análises, a saber, 3,2%.

Já que $k = 3$, neste exemplo,

$$\begin{aligned} CCI &= \frac{n(MS_s - MS_e)}{nMS_s + 3MS_t + (2n-3)MS_e} \\ &= \frac{10(5,518 - 0,07567)}{10(5,518) + 3(0,2523) + 17(0,07567)} = 0,95 \end{aligned}$$

Repetindo, esse valor é muito próximo, mas não é idêntico ao CCI baseado na ANOVA de uma via.

7 INTERPRETAÇÃO E APLICAÇÃO DO CCI E DO ETM

7.1 CCI

A ANOVA de uma via dos dados com duas medidas das dobras cutâneas do tríceps por indivíduo (veja a Seção 5.1) resultou num CCI de 0,94; uma interpretação do valor aparece no parágrafo seguinte.

Suponhamos que um antropometrista planeje usar o mesmo procedimento de medição num grupo de pessoas de população semelhante ou igual à dos 10 indivíduos na amostra do teste. Então, uma estimativa da correlação entre as medições sucessivas num único indivíduo é de 0,94. Na medida em que 0,94 é próximo de 1, valor máximo do CCI, um alto nível de concordância é esperado entre as medições sucessivas. O procedimento de medição terá um alto nível de confiança. O valor de 0,94 obtido na ANOVA de duas vias dos mesmos dados é interpretado de forma semelhante.

7.2 ETM

O ETM pode ser usado de várias formas. Fornecemos quatro exemplos, os dois primeiros usando o ETM de 0,33 mm obtido dos dados com duas medições das dobras cutâneas do tríceps por indivíduo (veja a Seção 5.1). Todos esses exemplos pressupõem que o procedimento de medição permaneça inalterado desde que se calculou o ETM. De preferência, os indivíduos testados no futuro devem pertencer ao mesmo grupo (ou população) usado para obter o ETM. Observe também que o

valor do ETM é único para o antropometrista que obtiver os dados, embora os valores para diferentes antropometristas muito experientes sejam muito próximos uns dos outros.

Exemplo 1

Um atleta é submetido a medições. Encontra-se uma medida de dobra cutânea do tríceps de 9,3 mm. Quais são os limites de confiança do valor real desse atleta?

O erro-padrão de medida será de 0,33, e um intervalo de confiança de aproximadamente 68% do valor real será de

$$[9,3 - 0,33] \text{ para } [9,3 + 0,33], \text{ i.e., de } 9,0 \text{ mm a } 9,6 \text{ mm.}$$

Alternativamente, um intervalo de confiança de aproximadamente 95% para o valor real será de

$$[9,3 - 2(0,33)] \text{ para } [9,3 + 2(0,33)], \text{ i.e., de } 8,6 \text{ mm a } 10,0 \text{ mm.}$$

Em geral, o ETM é o erro-padrão de uma única medição. (A medida \pm ETM) resulta no intervalo de confiança de aproximadamente 68% para o valor real do indivíduo. (A medida $\pm 2 \times$ ETM) resulta num intervalo de confiança de aproximadamente 98% do valor real do indivíduo.

Embora o ETM seja o desvio-padrão de medições repetidas, o termo erro-padrão vem sendo usado, uma vez que é a convenção quando o problema a ser considerado está na amostra e na estimativa subsequente. Nesse caso, a estimativa é a do valor real do indivíduo.

Exemplo 2

Um atleta é submetido à medição duas vezes, com um mês de diferença, na intenção de testar se o seu valor real foi alterado entre as medições sucessivas como resultado de dieta ou treinamento, por exemplo. Os valores são de 9,3 mm e 8,5 mm.

Cada medida terá erro-padrão de 0,33 mm. A diferença entre as medições é de $8,5 - 9,3 = -0,8$ mm, e o erro-padrão da diferença é $0,33 \times \sqrt{2} = 0,47$ mm. Um intervalo de confiança de aproximadamente 68% da mudança real resulta de

$$[-0,8 - 0,47] \text{ a } [-0,8 + 0,47], \text{ i.e., de } -1,3 \text{ mm a } -0,3 \text{ mm.}$$

O intervalo não inclui o zero, por isso conclui-se que o indivíduo mudou. Efetivamente, um teste pode ser realizado fora da hipótese nula de que o valor real não mude e de que a hipótese foi rejeitada ao nível de 32% (o complemento de 68%) de significância. Alternativamente, cerca de 95% do intervalo de confiança para a mudança verdadeira será de

$$[-0,8 - 2(0,47)] \text{ a } [-0,8 + 2(0,47)], \text{ i.e., de } -1,7 \text{ mm a } 0,1 \text{ mm.}$$

O intervalo inclui o zero (num nível de significância de 5%). Então, conclui-se que o valor real do indivíduo não mudou entre duas medições sucessivas. Em geral, o $\text{ETM} \times \sqrt{2}$ fornece o erro-padrão da diferença entre duas medições sucessivas. (A diferença \pm erro-padrão) resulta num intervalo de confiança de aproximadamente 68% para a mudança real. (A diferença ± 2 erros-padrão) resulta num intervalo de confiança de aproximadamente 95% para a mudança real.

Exemplo 3

A soma das sete dobras cutâneas ($\Sigma 7$) é medida duas vezes em uma ginasta de elite, com duas semanas de diferença, para monitorizar sua composição corporal. O treinador da ginasta quer saber se a gordura subcutânea de sua atleta está sendo mantida em nível constante. Os valores $\Sigma 7$ eram de 38 mm na primeira medição e de 41 mm duas semanas depois. Antes de realizar essas medições, o antropometrista tinha obtido um ETM de 2,9 mm para $\Sigma 7$ numa amostra de 30 ginastas de elite.

A diferença entre a semana zero e a semana 2 é $38 - 41 = -3$ mm, e o erro-padrão da diferença é $2,9 \times \sqrt{2} = 4,1$ mm. Um intervalo de confiança de aproximadamente 68% para a mudança real é $[-3-4,1]$ a $[-3+4,1]$, isto é, $-7,1$ mm a $1,1$ mm. O intervalo inclui o zero, portanto conclui-se que (num nível de significância de 32%) o valor real da ginasta não mudou. Alternativamente, um intervalo de confiança de 95% para mudança real é $[-3-2(4,1)]$ a $[-3+2(4,1)]$, isto é, $-11,2$ mm a $5,2$ mm. Novamente, se o intervalo inclui o zero, conclui-se que (no nível de 5% de significância) o valor real da atleta não mudou.

Exemplo 4

Suponha que, a partir da situação do exemplo 3, o técnico insiste que $\Sigma 7$ não deve ser maior do que 40 mm. Tendo observado 41 mm na segunda medição, o técnico deve concluir que o valor real de $\Sigma 7$ excedeu os 40 mm no momento da medição?

Um intervalo de confiança de aproximadamente 68% para o valor real parte de

$$[41 - 2,9] \text{ a } [41 + 2,9], \text{ i.e., de 38 mm a 44 mm.}$$

Já que 40 está dentro do intervalo, conclui-se que (no nível de significância de 16%) o valor real da ginasta não excedeu os 40 mm. A diferença entre o valor observado de 41 mm e o limite superior de 40 mm está completamente dentro da variação atribuída ao erro aleatório. O nível de importância é de 16%, em vez de 32% que poderia ser esperado, na medida em que o intervalo de confiança era de 68%, pois o teste em andamento é unilateral. O interesse é se o valor real excede 40 mm, e não se o valor real não é igual a 40 mm.

Alternativamente, um intervalo de confiança de aproximadamente 95% para o valor real parte de

$$[41 - 2(2,9)] \text{ a } [41 + 2(2,9)], \text{ i.e., de 35 mm a 47 mm.}$$

O 40 está no intervalo, portanto, conclui-se que (no nível de 2,5% de significância) o valor real da ginasta não excedeu os 40 mm.

8 CONHECIMENTO TEÓRICO

Considere a medida das dobras cutâneas do tríceps de 9,9 mm no primeiro indivíduo da Tabela 3.1. É possível que o valor real do indivíduo na ocasião, realizado ao longo do tempo, era de 9,6 mm, mas havia um erro de 0,3 mm atribuível ao, digamos, erro de medição ou à variabilidade biológica com o passar do tempo. Uma equação seria escrita como a seguir:

$$9,9 = 9,6 + 0,3.$$

Geralmente, o modelo seguinte (Modelo 1) pode ser escrito:

medida do indivíduo = valor real do indivíduo + erro

Este é um modelo apropriado caso os dados formem tabela de uma via. Ele forma a base da ANOVA de uma via. O erro médio é assumido como zero de forma que a medição seja igual ao valor real, na média. A variância* dos efeitos de erro pode ser escrita como $\sigma_e^2(1)$ e, se pudermos assumir que os indivíduos constituem modelo aleatório de determinada população, então a variância do valor real dos indivíduos pode ser escrita como $\sigma_s^2(1)$.

No Modelo 1, o ETM é a raiz quadrada da média de $\sigma_e^2(1)$, e o CCI é a média de

$$\frac{\sigma_s^2(1)}{\sigma_s^2(1) + \sigma_e^2(1)}$$

Assim, o CCI é a estimativa de proporção das variabilidades combinadas dos indivíduos; nesse caso, o erro pode ser atribuído à variação entre eles.

Agora, considere a situação em que os dados formam uma tabela de duas vias (como discutido por Denegar e Ball, 1993; Guilford, 1965; Verducci, 1980). Novamente, é possível que o valor real do indivíduo, medição realizada há muito tempo, tenha sido de 9,6 mm, mas houve acréscimo (aplicável a todos os indivíduos) de 0,5 mm associado com a primeira medição e um erro (único ao indivíduo) de -0,2 mm. Portanto, a seguinte equação pode ser escrita:

$$9,9 = 9,6 + 0,5 - 0,2$$

Geralmente, este modelo (Modelo 2) pode ser escrito:

medida do indivíduo = valor real do indivíduo + efeito do tempo + erro

Esse é um modelo apropriado caso os dados sejam considerados formadores de uma tabela de duas vias. Todo indivíduo tem o mesmo efeito do tempo incluído na sua medição no momento 1, bem como o mesmo efeito de tempo (provavelmente diferente do efeito do momento 1) incluído na medição do momento 2. Esse modelo forma a base de uma ANOVA de duas vias. O efeito do tempo não está presente no Modelo 1, e a variância dos efeitos de tempo pode ser escrita como σ_t^2 . A variância dos efeitos do indivíduo é $\sigma_s^2(2)$, e a variância do efeito do erro é $\sigma_e^2(2)$.

Nas Seções 5.2 e 6.2, que tratavam da ANOVA de duas vias, sugeriu-se que o teste-F fosse aplicado para determinar se os efeitos do tempo se diferenciavam uns dos outros. Caso se confirmasse que sim, o procedimento de medição seria investigado para ver se uma técnica melhor (assim como a marcação rigorosa dos pontos de referência nos indivíduos) eliminaria ou, no mínimo, minimizaria as diferenças de tempo. Feito isso, se ainda assim não houvesse diferenças de tempo, então a aproximação se deveria à variabilidade persistente do tempo intermediário como um componente do inevitável erro aleatório.

Para o Modelo 2, o ETM é a raiz quadrada da estimativa de $[\sigma_e^2(2) + \sigma_t^2]$. Se uma tabela de dados de duas vias for analisada com uma ANOVA de uma via e depois com uma ANOVA de duas vias, os ETMs das duas análises serão iguais, já que $\sigma_e^2(1) = \sigma_e^2(2) + \sigma_t^2$.

Para o Modelo 2, o CCI é uma estimativa de

* N. de R.T. Em estatística, quadrado do desvio-padrão.

$$\frac{\sigma_s^2(2)}{\sigma_s^2(2) + \sigma_t^2 + \sigma_e^2(2)}$$

Assim, o CCI é a estimativa da proporção das variabilidades combinadas para os indivíduos, o tempo e o erro que podem ser atribuídos à variabilidade entre as pessoas. Se uma tabela de dados de duas vias é analisada com uma ANOVA de uma via e depois com uma ANOVA de duas vias, os CCIs das duas análises estarão próximos um do outro, caso a variabilidade do intervalo de tempo seja pequena.

Em geral, o CCI fica próximo de 1 se existir alta variabilidade entre os indivíduos [$\sigma_s^2(1)$ ou $\sigma_s^2(2)$ é grande], se houver baixa variabilidade entre as medições repetidas na mesma pessoa [$\sigma_e^2(1)$ ou $\sigma_e^2(2)$ é pequena] ou se ambas as condições existirem. No Modelo 1, o valor 1 do CCI indicaria a capacidade perfeita de diferenciar os indivíduos, [$\sigma_e^2(1) = 0$; as medidas repetidas do mesmo indivíduo são idênticas] e o valor 0 indicaria a falta de capacidade discriminativa [$\sigma_s^2(2) = 0$; todos os indivíduos são idênticos em seu efeito]. Afirmativa semelhante pode ser feita sobre o CCI para o Modelo 2 se a variabilidade do intervalo de tempo for negligenciada. Do ponto de vista da capacidade das medidas de diferenciar os indivíduos, um valor do CCI próximo de 1 é o ideal.

Se duas técnicas de medição diferentes fossem comparadas por um único grupo de pessoas, então o CCI poderia promover a comparação, já que σ_s^2 e σ_e^2 puderam ser criados na dependência da técnica de medição. Se dois laboratórios fossem comparados, ambos usando a mesma técnica de medição, o CCI poderia ser utilizado, mas uma comparação legítima exigiria a hipótese de que os indivíduos usados por laboratório faziam parte da mesma população. Caso contrário, um laboratório poderia ter o CCI mais baixo do que o outro porque os indivíduos selecionados eram geneticamente menos variáveis (i.e., σ_s^2 era mais baixo), não por causa de deficiência na técnica do teste que resultou em alto σ_e^2 .

Os ETMs-alvo para níveis diferentes de reconhecimento serão discutidos no Capítulo 13.

9 REFERÊNCIAS

- Dahlberg, G. (1940).
Statistical methods for medical and biological students.
 London: George Allen & Unwin.
- Denegar, C.R., & Ball, D.W. (1993).
 Assessing reliability and precision of measurement: an introduction to intraclass correlation and standard error of measurement.
Journal of Sports Rehabilitation, 2, 35-42.
- Guilford, J.P. (1965).
Fundamental statistics in psychology and education.
 New York: McGraw-Hill.
- Verducci, F.M. (1980).
Measurement concepts in physical education.
 London: C.V. Mosby.